

KINETIKA PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU SECARA BIOLOGI MENGGUNAKAN BIOFILM DENGAN SISTEM BATCH

Danang Jaya dan Endang Sulistyawati
Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri
UPN "Veteran" Yogyakarta

Abstract

Industri tahu menghasilkan limbah cair yang bersifat biodegradable sehingga dapat diurai secara biologi dengan menggunakan mikroorganisme. Penelitian ini mempelajari kinetika pertumbuhan bakteri *Bacillus sphaericus* dalam limbah cair organik tahu. Penelitian dilakukan dengan mengembangbiakkan bakteri *Bacillus sphaericus* dalam larutan 5,5 gram nutrisi Agar dan 100 mL aquades selama 44 jam, dimasukkan ke dalam 500 mL limbah cair tahu yang berisi 20 buah batu apung. Setiap selang waktu 1 atau 2 jam, diambil 1 buah batu apung dan 10 mL substrat untuk diamati absorbansinya menggunakan spectronic 20", sehingga diperoleh konsentrasi bakteri dan konsentrasi substrat (dalam mg/mL). Parameter yang dipelajari adalah pengaruh perubahan pH pada air limbah terhadap konstanta kecepatan pertumbuhan bakteri. Dari hasil penelitian didapat nilai konstante laju pertumbuhan spesifik pada keadaan jenuh μ_m dan yield Y terbesar pada pH 7,5 yang merupakan pH optimum pertumbuhan bakteri *Bacillus sphaericus*, yaitu $\mu_m = 0,403 \text{ (jam}^{-1}\text{)}$ dan $Y = 0,593$.

Kata kunci: biofilm, kinetika, limbah cair industri tahu, sistem Batch

Pendahuluan

Limbah cair industri pangan mempunyai kandungan bahan organik yang cukup tinggi dan dapat berperan sebagai sumber makanan untuk pertumbuhan mikroba. Pasokan makanan yang berlimpah menyebabkan mikroorganisme akan berkembang biak dengan cepat dan mereduksi oksigen terlarut yang terdapat di dalam air. Limbah cair industri tahu mengandung asam cuka, bahan-bahan tersuspensi, senyawa organik dan senyawa lain dengan konsentrasi yang cukup tinggi. (tabel I). Apabila limbah cair ini dibuang langsung tanpa melalui perlakuan terlebih dahulu maka akan menimbulkan bau yang tidak sedap dan merusak ekosistem yang ada disekitarnya. Disamping itu dapat mengganggu kesehatan manusia pengguna air tersebut..

Proses yang dapat dipakai dalam penanganan air limbah industri bervariasi yaitu secara fisis, kimia, dan biologis atau kombinasi diantara ketiganya, tergantung komposisi dan karakteristik limbah. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Wudan Bates pada tahun 1972, komposisi limbah cair industri tahu seperti ditunjukkan pada tabel I

Tabel I. Komposisi Limbah Cair Industri Tahu

No	Parameter	Kadar,%
1	Air	13,3
2	Protein	33,8
3	Lemak	10,7
4	Karbohidrat	28,1
5	Abu	12,7

Sumber: Wudan Bates, 1972

Sifat limbah cair tersebut adalah *biodegradable*, sehingga dapat diolah secara biologi. Saat ini pengolahan limbah secara biologi masih dianggap sebagai metode yang paling murah dan efisien. Operasi yang sering digunakan untuk mengolah limbah secara biologi yaitu sistem biofilm. Oleh sebab itu riset mengenai biofilm menjadi penting dan semakin populer, terutama pada pengolahan

limbah rumah tangga, limbah industri pangan dan air tanah yang terkontaminasi.

Beberapa reaktor yang telah didesain bagi biofilm adalah *rotating biological contractor*, *anaerobic filter* dan *trickling filter*. *Trickling filter* merupakan unit-unit oksidasi aerobik yang menyerap dan mengoksidasi bahan organik dalam limbah yang melalui media filter. Media yang dapat digunakan adalah granit, slag, plastik. (Jenie, 1993)

Mikroorganisme yang dapat melekat pada permukaan media padatan dan mampu mengurai zat organik yang terkandung dalam limbah cair pabrik tahu diantaranya kelompok *Bacillus* dan bakteri lain dari kelompok *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Pediococcus*, dan *Acetobacter xylinum*. (Mitsui, 2002). Ditinjau dari komposisinya, komponen terbanyak limbah industri tahu adalah protein. Salah satu bakteri yang bersifat proteolitik adalah *Bacillus sphaericus*. Bakteri ini menghasilkan enzim protease sehingga sangat efektif mengurai protein. Bakteri kelompok *Bacillus* umumnya bersifat aerobik dan mesofil. Bakteri *Bacillus sphaericus* sedikit berbeda dengan bakteri spesies lain dari genus *Bacillus* apabila dilihat dari pembentuk dinding sel vegetatif. Bakteri kelompok *Bacillus* pada umumnya terbentuk dari *peptidoglycan* yang tersusun dari *meso-diaminopimelic acid (DAP)*, sedangkan untuk *B. sphaericus* dan beberapa spesies lain seperti *B. pasteurii* dan *B. globisporus*, tersusun oleh *lysine*. (Todar, 2003) Reaksi penguraian protein oleh mikroba secara umum adalah sebagai berikut:



Perbedaan dalam anatomi mikrobia dan mekanisme pertumbuhan menyebabkan perbedaan dalam kecepatan pertumbuhan. Pada umumnya semakin kompleks struktur sel suatu organisme semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk membelah diri atau semakin lama waktu generasinya. Faktor faktor yang mempengaruhi kecepatan pertumbuhan mikrobia diantaranya nutrient yang digunakan, suhu, aktifitas air dan pH. Nutrien di dalam

medium sangat mempengaruhi kecepatan pertumbuhan bakteri untuk mencapai maksimum. Dalam pertumbuhannya, bakteri dapat dengan cepat kehabisan makanan dan mengeluarkan residu yang dapat menghambat perkembangbiakannya. Oleh karena itu harus disediakan nutrisi yang cocok dan dalam hal ini nutrisi yang cocok untuk *B. sphaericus* adalah nutrisi *Agar* dan *Broth*. Suhu mempengaruhi kecepatan pertumbuhan spesifik bakteri sesuai dengan golongan bakteri tersebut.. Suhu optimal untuk bakteri ini 30°C sampai 45°C Sebanyak 80% berat sel mikrobia adalah air, oleh karena itu peranan air sangat penting untuk pertumbuhan mikrobia dan air juga berfungsi sebagai reaktan terutama dalam reaksi hidrolisis, dan dapat juga sebagai produk misalnya hasil reduksi oksigen dalam sistem transpor elektron. Kebanyakan mikrobia dapat tumbuh pada pH asam atau pada kisaran 1000 sampai 10000 kali konsentrasi ion hidrogen. Pada umumnya bakteri mempunyai pH optimum antara 6,5 sampai 7,5. Di bawah 5,0 dan di atas 8,5 bakteri tidak tumbuh dengan baik. Nilai pH untuk pertumbuhan mikroba mempunyai hubungan dengan suhu pertumbuhannya. Jika suhu pertumbuhan naik, pH optimum untuk pertumbuhan juga naik..

Landasan Teori

Selama proses pertumbuhan, campuran heterogen antara bakteri yang muda dan tua terus berubah dan selalu melakukan penyesuaian terhadap lingkungan. Sehingga selalu mengalami perubahan kondisi fisik dan kimianya. Untuk mempermudah dalam penyusunan persamaan-persamaan kinetika pertumbuhan bakteri, maka diasumsikan:

- Sel-sel direpresentasikan sebagai sel tunggal, misalnya massa sel, jumlah sel, atau konsentrasi protein, DNA, atau RNA.
- Massa sel dalam suatu kultur terdistribusi secara homogen.

Selain asumsi-asumsi terhadap sel di atas, media tumbuhnya juga dibuat sedemikian rupa sehingga hanya ada satu komponen yang membatasi kecepatan reaksi. Semua komponen yang lain menunjukkan konsentrasi tinggi sehingga perubahan kecil tidak begitu mempengaruhi kecepatan reaksi.

Pertumbuhan mikrobia tergantung pada transfer elektron donor, elektron akseptor, dan nutrisi dari cairan ke lapisan mikrobia. Umumnya nutrisi yang tersedia cukup, sehingga hanya elektron donor atau akseptor saja yang perlu diperhitungkan. Pada proses pengambilan, materi organik berperan sebagai elektron donor dan oksigen berperan sebagai elektron akseptor. Setelah masuk ke lapisan mikrobia, elektron donor dan akseptor akan diolah, sebagian digunakan sebagai energi dan sebagian untuk pertumbuhannya.

Bakteri yang bersifat aerobik mempunyai enzim katalase yang menyerupai reaksi katalitik order satu sehingga kecepatan pertumbuhannya sesuai dengan jumlah sel atau jumlah massa sel atau jumlah komponen sel per unit waktu. Laju pertumbuhan spesifik bila dinyatakan dalam massa sel maka:

$$\begin{aligned} \text{Laju pertumbuhan} &= \frac{\text{Perubahan massa sel}}{\text{Unit waktu}} \\ &= \mu \times \text{massa sel} \end{aligned}$$

$$\mu \cdot r_f = \frac{dr_f}{dt} \dots\dots\dots (1)$$

Hasil integrasi dari persamaan (1):

$$\mu = \frac{\ln\left(\frac{r_f}{r_{f_0}}\right)}{t - t_0} \dots\dots\dots (2)$$

Hubungan antara kecepatan pertumbuhan sel dengan konsentrasi mikrobia dalam biofilm dinyatakan sebagai berikut:

$$r_r = \mu \cdot r_f \dots\dots\dots (3)$$

Efisiensi pertumbuhan suatu kultur atau yield pertumbuhan Y merupakan pertumbuhan massa sel per konsentrasi nutrisi terbatas (mg/ml):

$$Y = \frac{r_f}{S} \dots\dots\dots (4)$$

Sebagai reaksi pembatas dapat dipergunakan salah satu elektron donor atau akseptor sehingga diperoleh hubungan μ dan S. Menurut Monod (1949) dinyatakan sebagai:

$$\mu = \frac{\mu_m \cdot S}{K_s + S} \dots\dots\dots (5)$$

Dengan μ_m = kecepatan pertumbuhan bakteri maksimum dan K_s = konstanta konsentrasi jenuh. Persamaan (5) dinyatakan dalam persamaan garis lurus.

$$\frac{1}{\mu} = \frac{K_s + S}{\mu_m \cdot S} \dots\dots\dots (6)$$

$$\frac{1}{\mu} = \frac{K_s}{\mu_m \cdot S} + \frac{S}{\mu_m \cdot S} \dots\dots\dots (7)$$

$$\frac{1}{\mu} = \frac{1}{\mu_m} + \frac{K_s}{\mu_m} \cdot \frac{1}{S} \dots\dots\dots (8)$$

$$\frac{S}{\mu} = \frac{K_s}{\mu_m} + \frac{1}{\mu_m} S \dots\dots\dots (9)$$

Persamaan 9 merupakan persamaan garis lurus, dengan intercept = $\frac{K_s}{\mu_m}$ dan slope = $\frac{1}{\mu_m}$.atau

dengan menggunakan metode least-square, sehingga dapat diketahui nilai μ_m dan K_s

Metodologi

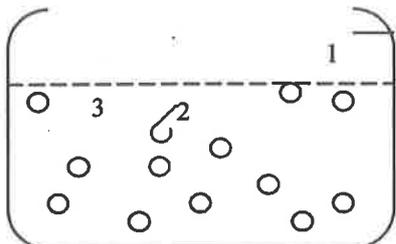
Bahan

Bahan yang digunakan adalah limbah cair tahu diperoleh dari industri tahu di desa Wiyoro, Banguntapan, Bantul dengan pH 5,8 dan kadar protein 2,6 mg/mL. Aquadest, batu apung yang dibentuk bola dengan diameter 1,5 cm. Bakteri *Bacillus sphaericus*., Nutrien *Agar* sebagai organik buatan. *Bovine Serum Albumin* (BSA).Reagen A, B, C, D, dan E diperoleh dari Pusat Antar Universitas UGM.

Tabel II. Komposisi Reagen A, B, C, D, dan E

Jenis Reagen	Komposisi
Reagen A	Na ₂ CO ₃ 2% dalam NaOH 0,1N
Reagen B	NaK Tartrate 1% dalam H ₂ O
Reagen C	CuSO ₄ ·5 H ₂ O 0,5% dalam H ₂ O
Reagen D	48 mL Reagen A + 1 mL Reagen B + 1 mL Reagen C
Reagen E	Reagen Fenol Folin Fenol : Aquades = 1 : 1

Alat : Rangkaian alat yang digunakan adalah sebagai berikut



Keterangan gambar:
 1. Tangki limbah
 2. Batu apung
 3. Air limbah tahu

Gambar 1. Rangkaian Alat Percobaan Sistem Batch Cara Penelitian

Disiapkan nutrisi yang cocok untuk mengembangbiakkan bakteri *Bacillus spaeiricus* yaitu nutrisi *Agar*, sebanyak 5,5 gram dan dilarutkan dalam 100 mL aquades. Larutan dipanaskan sambil diaduk sampai mendidih. Setelah itu larutan nutrisi dimasukkan dalam otoklaf selama 30 menit. *Bacillus sphaericus* dalam ampul diambil menggunakan ose yang sebelumnya sudah disterilisasi dengan api spiritus. Sambil didekatkan dengan api, bakteri dimasukkan ke dalam nutrisi yang telah

disiapkan, kemudian didiamkan selama 44 jam sehingga diperoleh biakan mikroba dalam limbah organik buatan.

Pembiakan kultur campuran dibuat dari limbah cair tahu sebanyak 50 mL di dalam tangki yang berisi 20 buah batu apung. Biakan bakteri dimasukkan ke dalam kultur campuran dan divariasikan nilai pH. Setiap waktu tertentu diambil substrat sebanyak 3 mL yang ditambah 2 mL *Reagen D* dan 6 mL *Reagen E* kemudian dilihat absorbansinya pada setiap variasi pH. Setelah itu dimasukkan 1 buah batu apung ke dalam substrat tersebut dan digoyang-goyang agar tercampur kemudian diambil lagi batu apungnya dan dilihat lagi absorbansinya. Pengambilan sampel percobaan dilakukan setiap 2 jam selama waktu tertentu. Pengamatan dihentikan setelah terjadi penurunan jumlah bakteri.

Analisa hasil

Pengukuran jumlah mikroba dilakukan dengan pengukuran massa sel menggunakan metode kekeruhan. Sebagai larutan standar digunakan *Bovine Serum Albumin* (BSA), karena didalamnya kaya akan protein dengan konsentrasi 5g/100 mL. Serum albumin tersebut mempunyai *intrinsic viscosity* berkisar 3,7 sampai 4,2 mL/g. (Friedli, 1996)

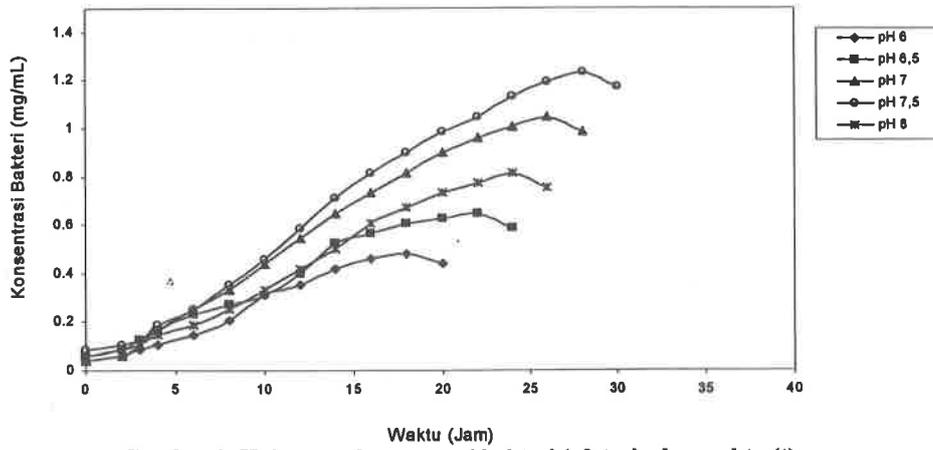
Sampel diambil sebanyak 3 mL dan ditambahkan 2 mL *Reagen D* dan 6 mL *Reagen E* dan dilihat absorbansinya menggunakan spektrometri 20". Kemudian dimasukkan 1 buah batu apung ke dalam substrat tersebut dan digoyang-goyang agar tercampur. Batu apung diambil lagi dan dilihat lagi absorbansinya. Hasil pengamatan dalam absorbansi tersebut kemudian diplotkan pada kurva standar sehingga didapat konsentrasi substrat dan konsentrasi sel.

Hasil dan Pembahasan

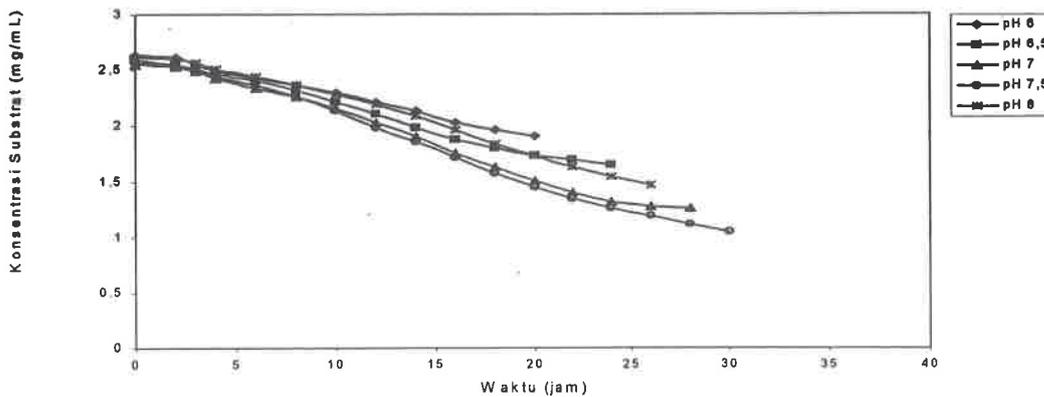
Hasil pengamatan yang dilakukan disajikan pada Tabel III

Tabel III Pertumbuhan Bakteri pada berbagai pH

Waktu (jam)	pH = 6		pH = 6,5		pH = 7p		pH = 7,5		pH = 8	
	rf (mg/mL)	S (mg/mL)								
0	0.041	2.634	0.062	2.593	0.041	2.551	0.083	2.572	0.062	2.614
2	0.062	2.614	0.083	2.551	0.062	2.530	0.104	2.551	0.083	2.593
3	0.083	2.551	0.125	2.509	0.104	2.488	0.125	2.509	0.104	2.572
4	0.104	2.488	0.167	2.467	0.167	2.425	0.188	2.446	0.146	2.509
6	0.146	2.425	0.230	2.404	0.250	2.342	0.250	2.363	0.188	2.446
8	0.209	2.363	0.271	2.321	0.334	2.258	0.355	2.258	0.250	2.363
10	0.313	2.300	0.313	2.216	0.439	2.153	0.460	2.133	0.334	2.279
12	0.355	2.216	0.397	2.112	0.543	2.028	0.585	1.986	0.418	2.195
14	0.418	2.133	0.522	1.986	0.648	1.903	0.711	1.861	0.501	2.091
16	0.460	2.028	0.564	1.882	0.731	1.756	0.815	1.714	0.606	1.965
18	0.480	1.965	0.606	1.798	0.815	1.631	0.899	1.568	0.669	1.840
20	0.439	1.903	0.627	1.735	0.899	1.505	0.982	1.442	0.731	1.735
22	-	-	0.648	1.693	0.961	1.401	1.045	1.338	0.773	1.631
24	-	-	0.585	1.652	1.003	1.317	1.129	1.254	0.815	1.547
26	-	-	-	-	1.045	1.275	1.192	1.192	0.752	1.463
28	-	-	-	-	0.982	1.254	1.233	1.108	-	-
30	-	-	-	-	-	-	1.171	1.045	-	-



Gambar 2. Hubungan konsentrasi bakteri (rf) terhadap waktu (t)



Gambar 3. Hubungan konsentrasi substrat (S) terhadap waktu (t)

Tabel III. dibuat grafik hubungan antara konsentrasi bakteri (rf) terhadap waktu (t), dan grafik hubungan konsentrasi substrat (S) terhadap waktu (t) pada variasi pH 6; 6,5; 7; 7,5 dan 8:

Dari gambar 2 dapat dilihat pertumbuhan bakteri *B. sphaericus* di dalam limbah cair tahu menunjukkan peningkatan terhadap waktu pada berbagai variasi pH, kemudian mendekati konstan hingga pada waktu tertentu mengalami penurunan. Hal ini disebabkan semakin lama nutrisi yang tersedia semakin menipis dengan adanya kenaikan jumlah bakteri, sehingga lama kelamaan akan habis dan bakteri akan mati. Yang terjadi pada 1 jam pertama adalah fase adaptasi, sedangkan fase pertumbuhan awal akan terjadi pada jam berikutnya. Untuk pH 6 dan 6,5 bakteri *B. sphaericus* mengalami fase kematian lebih cepat dibandingkan pH lainnya dikarenakan keadaan limbah yang terlalu asam sehingga bakteri tidak dapat tumbuh dengan baik. Bakteri *B. sphaericus* di dalam limbah tahu akan mengalami perkembangbiakan maksimum pada variasi pH 7,5 Seperti yang ditunjukkan pada gambar 3 konsentrasi substrat (S) menurun terhadap waktu untuk semua variasi pH..dan -semakin lama akan semakin landai.

Hal ini menunjukkan bahwa bakteri telah memasuki fase kematian sehingga jumlahnya terus berkurang.

Secara visual teramat warna air limbah tahu yang awalnya keruh akan tampak semakin jernih setelah waktu tertentu yang artinya pengolahan limbah berhasil dan kondisi yang paling jernih adalah pada variasi pH 7,5.

Harga konstanta kecepatan pertumbuhan bakteri maksimum (μ_m), konstanta konsentrasi jenuh (K_s) dihitung menggunakan persamaan 9. dengan menggunakan metode *Least Square*. Nilai yield dihitung menggunakan persamaan 4. hasil perhitungan ditunjukkan Tabel IV..

Tabel IV. Harga μ_m , K_s , dan Yield pada berbagai pH

pH	μ_m (jam ⁻¹)	K_s (mg/mL)	Yield (Y)
6	0,0616468	1,5609872	0,1656904
6,5	0,0746058	1,2206126	0,2387146
7	0,1793877	0,3718254	0,4881657
7,5	0,4029868	2,5431688	0,5930232
8	0,1456363	0,2747244	0,3204578

Tabel IV menunjukkan harga μ_m dan Yield terbesar terjadi pada pH 7,5 sehingga pada pH tersebut adalah kondisi optimum dalam penelitian ini. Keadaan ini dikarenakan bakteri *B. sphaericus* dapat hidup maksimal pada kisaran pH 7,2 sampai 7,6.

KESIMPULAN

Limbah cair pabrik tahu dapat diolah secara biologi dengan biofilm dalam sistem batch menggunakan bakteri *Bacillus sphaericus*. Bakteri *Bacillus sphaericus* akan berkembang biak dengan baik di dalam limbah cair tahu pada pH 7,5 dengan nilai konstanta pertumbuhan biak $\mu_m = 0,403$ (jam^{-1}) dan yield = 0,593.

Pada pH 7.5 terjadi perubahan sifat fisik air limbah yang signifikan, dari air limbah yang semula keruh berubah menjadi jernih.

DAFTAR PUSTAKA

Friedli, G. L., 1996, "Interaction of SWP with BSA", A Thesis presented for the Award of Doctor of Philosophy to the University of Surrey, USA.

- Jenie, B. S. L. dan Rahayu, W. P., 1993, "Penanganan Limbah Industri Pangan", Kanisius, Jogjakarta.
- Loehr, R. C., 1997, "Pollution Control for Agriculture", Academic Press, Inc., New York, USA.
- Mitsui, M. dan Zender, W., 2002, "Bio-Trickling Filter System", Japanese Advanced Environment Equipment, Tokyo.
- Nakasae, T., 1995, "Japan Collection of Microorganism", 6th Edition, Tokyo, Japan
- Hutama, I. M. N. dan Prasetyo, S. A., 2004, "Pengolahan Limbah Cair Tahu Menggunakan Metode Lumpur Aktif", Jurusan Teknik Kimia Universitas Pembangunan Nasional "Veteran", Jogjakarta.
- Schlegel, G. H. dan Schmidt, K., 1994, "Mikrobiologi Umum", Edisi ke-6, Gadjah Mada University Press, Jogjakarta.
- Todar, K., 2003, "Todar's Textbook of Bacteriology", University of Wisconsin-Madison Department of Bacteriology, USA.
- Williamson, J., 2000, "Protein Determination Lowry Procedure", Department of Biology, Davidson College, Davidson, North Carolina, USA.